

**This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- **BLACK BORDERS**
- **TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- **FADED TEXT**
- **ILLEGIBLE TEXT**
- **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- **COLORED PHOTOS**
- **BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS**
- **GRAY SCALE DOCUMENTS**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

LIGHT PULSE COMPRESSING AND AMPLIFYING METHOD

Patent Number: JP3046635
Publication date: 1991-02-27
Inventor(s): ASHITANI FUMIHIRO
Applicant(s): NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
Requested Patent: ☐ JP3046635
Application Number: JP19890180535 19890714
Priority Number(s):
IPC Classification: G02F1/35; G02B6/00; H01S3/06; H01S3/16
EC Classification:
Equivalents: JP2755999B2

Abstract

PURPOSE: To compress and amplify light as it is by making an exciting light pulse which has shorter wavelength than a signal light pulse and also has high intensity and a fast group speed incident on an optical fiber for compression which has normal dispersion characteristics with delay behind the signal light pulse.

CONSTITUTION: The exciting light pulse which has shorter wavelength than the signal light pulse and also has the high intensity and fast group speed is made incident on the optical fiber 7 for compression which has normal dispersion characteristics with the delay behind the signal light pulse and the pulse width of the signal light pulse is compressed. Then the compressed signal light pulse and exciting light pulse differ in wavelength and intensity and exciting light pulse which has necessary wavelength and intensity to excite a rare earth element added optical fiber 2 is made incident on the rare earth element added optical fiber 2 at the same time. Consequently, the signal light pulse has the waveform compressed and the intensity amplified sequentially or at the same time in the form of the light.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

平3-46635

⑬ Int. Cl.⁵

G 02 F 1/35
G 02 B 6/00
H 01 S 3/06
3/16

識別記号

5 0 1

庁内整理番号

7348-2H

⑭ 公開 平成3年(1991)2月27日

7630-5F

7630-5F

9017-2H

G 02 B 6/00

E

審査請求 未請求 請求項の数 2 (全13頁)

⑮ 発明の名称 光パルス圧縮増幅方法

⑯ 特 願 平1-180535

⑰ 出 願 平1(1989)7月14日

⑱ 発 明 者 芦 谷 文 博 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

⑲ 出 願 人 日本電信電話株式会社 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号

⑳ 代 理 人 弁理士 吉田 精孝

明 細 書

1. 発明の名称

光パルス圧縮増幅方法

2. 特許請求の範囲

(1) 正常分散特性を有する圧縮用光ファイバに、信号光パルスよりも短波長で、かつ、強度と群速度の大きい励起光パルスを、信号光パルスよりも遅らせて入射することにより信号光パルスのパルス幅を圧縮し、

次いで、圧縮された信号光パルスと、前記励起光パルスとは異なる波長と強度で、かつ、希土類元素添加光ファイバの励起に必要な波長と強度を有する励起光パルスとを同時に当該希土類元素添加光ファイバに入射することにより信号光パルスの増幅を行なう

ことを特徴とする光パルス圧縮増幅方法。

(2) 正常分散特性を有する希土類元素添加光ファイバに、信号光パルスより短波長で、かつ、強度と群速度の大きい励起光パルスを、信号光パルスよりも遅らせて入射するとともに、前記希土類元

素添加光ファイバの励起に必要な波長と強度を有する別の励起光パルスを信号光パルスと同時に入射することにより信号光パルスのパルス幅の圧縮及び増幅を行なう

ことを特徴とする光パルス圧縮増幅方法。

3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は、光ファイバ中に信号光パルスを伝播させて信号の伝送を行なう光ファイバ通信方式に係り、特に光ファイバの分散特性によって生じる信号光パルス幅の広がり、光ファイバの損失特性によって生じる信号光パルスの強度の低下とを補償する光パルス圧縮増幅方法に関するものである。

(従来の技術)

光ファイバ通信方式においては、光ファイバの有する分散特性と損失特性のために、信号光パルスは光ファイバ中を伝播する間にパルス幅が広がり、かつ強度が低下してしまう。このため従来の光ファイバ通信方式では、所定の長さだけ光ファ

イバ中を伝播した信号光パルスを経電気信号に変換した後、電気信号の波形を圧縮及び増幅して元の信号波形に戻し、この信号を再び信号光パルスに変換して、光ファイバに送出していた。

しかし、この方法では、光/電気、電気/光の変換回路が必要となり、信号光パルスの圧縮・増幅装置が複雑になるという欠点を有していた。

そこで、この欠点を解決するために、従来より二つの方法が検討されている。一つは、信号光パルスを光パルス圧縮器や光増幅器等の光回路を用いて、電気信号に変換することなく信号光パルスのままで直接圧縮及び増幅を行なう方法である。

他の方法は、光ファイバ増幅器を用いる方法である。近年、光ファイバコア中に各種元素を添加することによって、光ファイバ自身が光信号増幅機能を持つことが明らかになってきた。このような光ファイバ増幅器は、信号を伝播させる光ファイバとほぼ類似した構造を有しているため、両者を低損失に接続できるという特徴を併せ持つ。

一例として、光ファイバコア中にエルビウムを

- 3 -

された信号光パルスは、光ファイバ1aを伝播した後、光結合器3の端子3Aから端子3Bを経てエルビウム添加光ファイバ2に入射される。一方、励起光発生用光源5で発生され、光ファイバ配線コード6の他端に入射された励起光は、光ファイバ配線コード6を伝播した後、光結合器3の端子3Cから端子3Bを経てエルビウム添加光ファイバ2に入射される。

上記経路を通してエルビウム添加光ファイバ2に入射された信号光パルスは、光ファイバ1aを伝播する間に、光ファイバ1aの分散特性と損失特性のために、パルス幅が広がり、強度が低下しているが、エルビウム添加光ファイバ2を伝播中に励起光がエルビウムを励起することによって増幅され、強度は光ファイバ1aへの入射時の強度にまで回復される。

なお、エルビウム添加光ファイバ中での励起光による信号光パルスの増幅機構については、上記した文献及び文献「Paul Urquhart "Review of rare earth doped fibre lasers and amplifiers"

- 5 -

添加して構成した光ファイバ増幅器を用いて、信号光パルスを増幅する方法を採用した光ファイバ通信システムの構成を第2図に示す（文献：木村、中沢「光ファイバレーザの発振特性とその光通信への応用」レーザ学会研究会報告RTM-87-16, pp. 31-37, 1988年1月）。

第2図において、1a, 1bは信号光パルスを伝播させる光ファイバ、2は光ファイバコア中にエルビウムを添加して構成されたエルビウム添加光ファイバ、3は光結合器、4は信号光パルス発生用光源、5は励起光発生用光源、6は光ファイバ配線コードである。光結合器3は、光ファイバカップラ等で構成され、その一例を第3図の(a)及び(b)に示す。第3図中に示す光結合器3の端子3Aには光ファイバ1aの一端が、端子3Bにはエルビウム添加光ファイバ2の一端が、端子3Cには光ファイバ配線コード6の一端がそれぞれ接続される。

このような構成において、信号光パルス発生用光源4で発生され、光ファイバ1aの他端に入射

- 4 -

IEE Proc. Vol.135, Pt.J, No.6, pp.385-407 (1988)」に詳しく述べられている。

また、エルビウム添加光ファイバの場合、励起光の波長を $0.514\mu\text{m}$ にすると、波長 $1.553\sim 1.603\mu\text{m}$ 帯の信号光パルスを、また励起光の波長を $1.48\mu\text{m}$ にすると波長 $1.535\mu\text{m}$ の信号光パルスを最も効率よく増幅できる（文献：木村、中沢「Lasing characteristics of Er^{3+} -doped silica fibres from 1553 up to 1603nm」J. Appl. Phys., Vol.64, No.2, pp.518~518(1988) 及び中沢、木村、鈴木「Efficient Er^{3+} -doped optical fiber amplifier pumped by a $1.48\mu\text{m}$ InGaAsP laser diode」Appl. Phys. Lett., Vol. 54, No.4, pp.295~297, (1989)）。

しかもこのようなエルビウム添加光ファイバでは、現在光ファイバ通信方式で用いられている最低損失波長帯（ $1.5\mu\text{m}$ 帯）の光信号を20dB以上増幅できるため、通信用信号光パルスの増幅方法として極めて有効である。

（発明が解決しようとする課題）

- 6 -

しかしながら、前者の方法では、小形で特性の安定した光回路が必要となるが、実現が困難な状況にある。また、このような光回路を用いる場合、信号光パルスを伝播させる光ファイバと光回路との接続損失が大きくなるという問題点がある。

また、後者の方法では、信号光パルスの増幅を行なうことはできるものの、光ファイバ 1 a の分散特性のために広がったパルス幅を元通りに回復することができない。従って、この方法では、信号光パルスの幅を回復するために、電気回路、即ち、光／電気、電気／光変換回路を用いざるを得ず、これでは光通信における信号中継装置の複雑化、大型化を招くという欠点を有していた。

本発明は、かかる事情に鑑みてなされたものであり、その目的は、信号光パルスを電気信号に変換することなく、光のままで信号光パルスの波形圧縮及び強度増幅を、順次もしくは同時に行なうことができ、小型にして簡易な構成の信号中継装置を実現できる光パルス圧縮増幅方法を提供することにある。

— 7 —

(作 用)

請求項(1)によれば、伝送路である光ファイバを伝播する間にパルス幅が広がり、強度が低下した信号光パルスが、圧縮用光ファイバに入射される。次いで、これに遅れて信号光パルスよりも短波長で、かつ、強度が大きく、しかも群速度の大きい圧縮用の励起光パルスが入射される。これにより、圧縮用光ファイバ中において励起光パルスが引き起こす非線形光学効果によって、信号光パルスの立下がり部では負のチャープ（周波数が時間とともに減少）が発生し、正常分散の効果によって信号光パルスの立下がり部が早く進むため、パルス幅が圧縮される。

次に、パルス幅が圧縮された信号光パルスと、上記圧縮用励起光パルスとは異なる波長と強度の励起光パルスとが希土類元素添加光ファイバに入射される。これにより、希土類元素添加光ファイバ中において、励起光パルスによってエルビウムが励起され、エルビウムが引き起こす励起増幅効果によって信号光パルスが増幅される。

(課題を解決するための手段)

上記目的を達成するため、請求項(1)では、正常分散特性を有する圧縮用光ファイバに、信号光パルスよりも短波長で、かつ、強度と群速度の大きい励起光パルスを、信号光パルスよりも遅らせて入射することにより信号光パルスのパルス幅を圧縮し、次いで、圧縮された信号光パルスと、前記励起光パルスとは異なる波長と強度で、かつ、希土類元素添加光ファイバの励起に必要な波長と強度を有する励起光パルスとを同時に当該希土類元素添加光ファイバに入射することにより信号光パルスの増幅を行なうようにした。

また、請求項(2)では、正常分散特性を有する希土類元素添加光ファイバに、信号光パルスよりも短波長で、かつ、強度と群速度の大きい励起光パルスを、信号光パルスよりも遅らせて入射するとともに、希土類元素添加光ファイバの励起に必要な波長と強度を有する別の励起光パルスを信号光パルスと同時に入射することにより信号光パルスのパルス幅の圧縮及び増幅を行なうようにした。

— 8 —

また、請求項(2)によれば、上記した励起光パルスによる非線形光学効果及び励起増幅効果が、希土類元素添加光ファイバ中で同時に発現され、信号光パルスのパルス幅の圧縮及び増幅が行なわれる。

(実施例)

第1図は、本発明による光パルス圧縮増幅方法を採用した光ファイバ通信システムの第1の実施例を示す構成図であって、従来例を示す第2図と同一構成部分は同一符号をもって表す。

即ち、1 a, 1 b は信号光パルスを伝播させる伝送路用光ファイバ、2 は光ファイバコア中に希土類元素であるエルビウムを添加して構成された信号光パルス増幅用エルビウム添加光ファイバ、3 a, 3 b は光結合器、3 A, 3 B, 3 C は光結合器 3 a, 3 b の端子である。

4 は信号光パルス発生用光源で、例えば波長 $1.535 \mu\text{m}$ 、強度 $1 \mu\text{W}$ の光パルスを出射するレーザから構成されている。

5 a は励起光パルス発生用光源で、信号光パル

— 9 —

— 10 —

スより短波長、例えば $1.842 \mu\text{m}$ で、かつ、後記する信号光パルス圧縮用光ファイバ7において、交差位相変調（クロスフェーズモジュレーション、cross phase modulation）と呼ばれる非線形光学効果を発現させるために十分な強度、例えば 10 mW の圧縮用励起光パルスを発生するレーザから構成されている。

5 b は励起光パルス発生用光源で、前記圧縮用励起光パルスとは異なる波長及び強度、例えば波長 $1.48 \mu\text{m}$ で、かつ、エルビウム添加光ファイバ2においてエルビウムを励起して、信号光パルスの増幅を可能とするために十分な強度、例えば 30 mW の増幅用励起光パルスを発生するレーザから構成されている。また、6 a、6 b は光ファイバ配線コードである。

7 は信号光パルス圧縮用光ファイバ（以下、圧縮用光ファイバという）で、正常分散特性を有し、光結合器3 a の端子3 B とエルビウム添加光ファイバ2への光結合器3 b 間に挿入され、その一端は光結合器3 a の端子3 B と、他端は光結合器

3 b の端子3 A とそれぞれ接続されている。

第4図は、圧縮用光ファイバ7の群速度分散特性を示すグラフで、横軸は波長を、縦軸は群速度分散をそれぞれ表している。第4図において、 λ_0 は群速度分散（ $dg/d\lambda$ ）が零となる波長、即ち、零分散波長（例えば、 $1.9 \mu\text{m}$ ）である。また、 λ_1 は圧縮用励起光パルスの波長を、 λ_2 は信号光パルスの波長を、 λ_3 は増幅用励起光パルスの波長をそれぞれ示している。第4図では、零分散波長 λ_0 よりも短波長では群速度分散は正（+）、零分散波長 λ_0 よりも長波長では群速度分散は負（-）となっている。

第4図から分かるように、群速度分散が正の領域では、周波数の低い光、即ち波長の長い光は、周波数の高い光に比べて光ファイバ中の伝播速度が速くなる（以下、この領域を正常分散領域という）。一方、群速度分散が負の領域では、周波数の高い光は、周波数の低い光よりも光ファイバ中の伝播速度が速くなる（この領域を異常分散領域という）。

- 1 1 -

次に、上記構成による動作を、第4図並びに第5図乃至第7図に基づいて順を追って説明する。

信号光発生用光源4から光ファイバ1 a に入射された波長 λ_2 （ $= 1.535 \mu\text{m}$ ）の信号光パルスは、光ファイバ1 a を伝播中に、光ファイバ1 a の分散特性により光パルス幅（波形）が広がり、損失特性により強度が低下する。このように、波形及び強度共に劣化した信号光パルスは、光結合器3 a の端子3 A から端子3 B を経て圧縮用光ファイバ7に入射される。

一方、励起光パルス発生用光源5 a によって波長 λ_1 （ $= 1.842 \mu\text{m}$ ）の圧縮用励起光パルスを発生させる。この圧縮用励起光パルスは、光ファイバ配線コード6 a、光結合器3 a の端子3 C、端子3 B を経て、圧縮用光ファイバ7に入射される。この時、信号光パルスよりも波長が短く、かつ、強度が大きく、しかも群速度が大きい圧縮用励起光パルスは、後記する理由に基づいて信号光パルスよりも遅らせて圧縮用光ファイバ7に入射される。

- 1 3 -

- 1 2 -

このようにして圧縮用光ファイバ7に、微弱な信号光パルスと強度の大きい圧縮用励起光パルスとが入射されると、強度の大きい圧縮用励起光パルスが、上記した交差位相変調と呼ばれる非線形光学現象効果を発現させる。

ここで、交差位相変調によって圧縮用励起光パルスが信号光パルスに与える周波数チャープ（光の周波数シフト）について詳述する。

光パルスが、いわゆるガウス分布型の形状をしている場合、交差位相変調による周波数チャープ $\Delta\nu$ は次の(1)式で与えられる（文献：G. P. Agrawal, P. L. Baldeck and R. R. Alfano, "Optical wave breaking and pulse compression due to cross-phase modulation in optical fibers", Optics Letters, Vol. 14, No. 2, pp. 137 ~ 139 (1989)）。

$\Delta\nu =$

$$\Delta\nu \propto \{ \exp [-(\tau + \tau_0 - z/L)^2] - \exp [-(\tau + \tau_0)^2] \} \quad \dots (1)$$

ここで、

- 1 4 -

$$\tau = (t - z / v_{g1}) / T_0$$

τ_0 : 圧縮用光ファイバ7に圧縮用励起光パルスが入射される時点における信号光パルスと圧縮用励起光パルス間の時間差、

z : 信号光パルスが圧縮用光ファイバ7中を伝播する長さ、

$$L_0 = v_{g1} v_{g2} T_0 / |v_{g1} - v_{g2}|$$

v_{g1} : 励起光パルスの群速度、

v_{g2} : 信号光パルスの群速度、

T_0 : パルス幅、

$$\Delta v_{eff} = \gamma_2 P_1 L_0 / (\tau T_0)$$

P_1 : 圧縮用励起光パルスのピーク強度、

$\gamma_2 = 2\pi n_2 / (\lambda_2 A_{eff})$: 非線形効果の発生する効率を表すパラメータ、

n_2 : 非線形屈折率、

λ_2 : 信号光パルスの波長、

A_{eff} : 圧縮用光ファイバ7の実効コア径、

をそれぞれ示している。

第5図乃至第7図は、信号光パルスと圧縮用励起光パルスとが圧縮用光ファイバ7を伝播するに

つれて、上記(1)式より求めた周波数チャープ Δv がどのように遷移していくかを示したもので、各図中に示す「 $\tau_0 = 3, 0, (-)3$ 」は、圧縮用励起光パルスが圧縮用光ファイバ7中の各地点($z/L_0 = 2, 4, 6$)を通過する時刻である。即ち、圧縮用励起光パルスが圧縮用光ファイバ7中の各地点($z/L_0 = 2, 4, 6$)を通過する時刻における当該圧縮用励起光パルスの位置を基準として、その時刻における信号光パルスの位置及び周波数チャープの様子を示している。なお、各図において、実線による曲線が周波数チャープを、また破線による曲線が信号光パルスの位置をそれぞれ示している。

具体的には、第5図は「 $\tau_0 = 3$ 」、即ち、群速度の大きい圧縮用励起光パルスが信号光パルスよりも先に圧縮用光ファイバ7に入射された場合のチャープを、第6図は「 $\tau_0 = 0$ 」、即ち、群速度の大きい圧縮用励起光パルスが信号光パルスと同時に圧縮用光ファイバ7に入射された場合のチャープを、第7図は「 $\tau_0 = (-)3$ 」、即ち、

- 15 -

群速度の大きい圧縮用励起光パルスが信号光パルスよりも遅れて圧縮用光ファイバ7に入射された場合のチャープをそれぞれ示している。

さらに詳細には、第5図乃至第7図の各(a)は、 $z/L_0 = 2$ における周波数チャープを示す図、第5図乃至第7図の各(b)は、 $z/L_0 = 4$ における周波数チャープを示す図、第5図乃至第7図の各(c)は $z/L_0 = 6$ における周波数チャープを示す図、第7図の(d)及び(e)は、 $z/L_0 = 10, 20$ における周波数チャープを示す図である。

第5図から分るように、群速度の大きい圧縮用励起光パルスが信号光パルスよりも先に圧縮用光ファイバ7に入射された場合($\tau_0 = 3$)には、信号光パルスの位置では、周波数チャープは非常に小さい。従って、この場合、信号光パルスの形状はほとんど変化しない。

また、第6図から分るように、群速度の大きい圧縮用励起光パルスが信号光パルスと同時に圧縮用光ファイバ7に入射された場合($\tau_0 = 0$)に

- 16 -

は、 $z/L_0 > 6$ において信号光パルスは、常に正の周波数チャープを受ける。同様に、 $0 < z/L_0 < 6$ においても信号光パルスは、主に正の周波数チャープを受ける。従って、正常分散特性を有する圧縮用光ファイバ7中を伝播する場合には、周波数の高いピーク部分の速度は遅くなり、信号光パルスの裾野部分の速度は速くなって、パルスは広がってしまう。

これに対して、第7図から分るように、群速度の大きい圧縮用励起光パルスが信号光パルスよりも遅れて圧縮用光ファイバ7に入射された場合($\tau_0 = (-)3$)には、 $0 < z/L_0 < 10$ の範囲では、信号光パルスは負の周波数チャープを受け、 $10 < z/L_0$ では周波数チャープはほぼ零となる。特に、 $z/L_0 = 4$ では、周波数チャープは信号光パルスのピーク値付近で零で、立下り部ではほぼ線形にチャープが減少する。従って、正常分散特性を有する圧縮用光ファイバ7中では、立下り部が速く伝播して立上り部に追いついていき、このためパルスは圧縮される。

- 17 -

- 18 -

以上のように、圧縮用光ファイバ7中では、交差位相変調のために周波数チャープ（光の周波数シフト）が発生し、特に第7図の（b）に示すように、 $z/L_c = 4$ では、信号光の立下り部において周波数が時間とともに減少するようになる。

ところが、信号光パルスの波長 λ_2 は上記した正常分散領域にあるため、周波数の違いに対応して、伝播する信号光パルスの群速度が異なる。具体的には、チャープによって信号光パルスの立下り部（光パルスの後部）では、時間が経過する程、周波数が低くなる。さらに、正常分散領域では、周波数の低い部分は速度が大きくなるため、圧縮用光ファイバ7を伝播中に、信号光パルスの後部（立下り部）は立上り部に徐々に追いついていき、この結果、信号光パルスの幅が狭くなる。

このような信号光パルスの圧縮の程度は、信号光パルスと圧縮用励起光パルスの入射時間の差に依存し、入射時間差を最適に選定することにより最大のパルス幅圧縮効率が得られる。なお、最適な入射時間差は、圧縮用光ファイバ7の群速度分

散値やファイバコア径、信号光パルス及び圧縮用励起光パルスの波長や強度によって異なる（上記した文献：G.P.Agrawal, P. L. Baldeck and R. R. Alfano, "Optical wave breaking and pulse compression due to cross-phase modulation in optical fibers" Optics Letters, Vol.14, No. 2, pp.137 ~ 139 (1989)参照）。

ちなみに、第7図のように「 $r_c = (-) 3$ 」の場合には、パルス幅の3倍分だけ遅らせて入射させることに相当する。即ち、信号光パルスと圧縮用励起光パルスの幅が1ピコ秒の場合には、励起光パルスを3ピコ秒遅らせて入射させる。

同じく、第7図の例では（ $r_c = (-) 3$ ）、信号光パルスの波長 λ_2 、強度 P_2 と圧縮用励起光パルスの波長 λ_1 、強度 P_1 とは、次の(2)式及び(3)式に示す関係を満足している。

$$\lambda_1 / \lambda_2 = 1.2 \quad \dots (2)$$

$$P_2 / P_1 = 10^{-4} \quad \dots (3)$$

具体的には、信号光パルスの波長 λ_2 並びに強度 P_2 の値が、 $\lambda_2 = 1.535 \mu m$ 、 $P_2 = 1 \mu W$

— 19 —

の場合には、圧縮用励起光パルスの波長 λ_1 並びに強度 P_1 の値は、 $\lambda_1 = 1.842 \mu m$ 、 $P_1 = 10 mW$ である。

同様に、信号光パルスの波長 λ_2 並びに強度 P_2 の値が、 $\lambda_2 = 1.3 \mu m$ 、 $P_2 = 1 \mu W$ の場合には、圧縮用励起光パルスの波長 λ_1 並びに強度 P_1 の値は、 $\lambda_1 = 1.56 \mu m$ 、 $P_1 = 10 mW$ である。

また、第7図からも分るように、 $z/L_c > 6$ においては、信号光パルスの立上り部で周波数が低く、ピーク部及び立下り部では立上り部に比べて周波数が高くなるので、パルスは広がってしまう。従って、「 $r_c = (-) 3$ 」の場合には、圧縮用光ファイバ7の長さは $z/L_c < 6$ とする必要がある。

次いで、圧縮用光ファイバ7で圧縮された微弱な信号光パルスは、光結合器3bを介して、励起光パルス発生用光源5bで発生された波長 λ_3 の増幅用励起光パルスと同時にエルビウム添加光ファイバ2に入射される。これにより、増幅用励起

— 20 —

光パルスがエルビウムを励起して、光を誘起し、これが信号光パルスを増幅する。

なお、エルビウム添加光ファイバ2を励起するための増幅用励起光パルスの波長、強度等については、例えば、添加濃度約1000ppm、コア径6 μm 、コアの比屈折率差0.85%、カットオフ波長1.28 μm のエルビウム添加光ファイバ（長さ3m）の場合には、波長1.48 μm 、強度30mWの励起光で励起すると、波長1.535 μm の信号光（数 μW ）は約10dB増幅される（文献：中沢、木村、鈴木 "Efficient Er^{3+} -doped optical fiber amplifier pumped by a 1.48 μm InGaAsP laser diode" Appl. Phys. Lett., Vol.54, No.4, pp. 295 ~ 297, (1988)）。

このように、信号光パルス圧縮用光ファイバ7でパルス幅を圧縮され、エルビウム添加光ファイバ2で増幅された信号光パルスは、次の伝送路である光ファイバ1bに導波される。

以上説明したように、本第1の実施例によれば、伝送路である光ファイバ1aを伝播する間にパル

— 21 —

— 22 —

ス幅が広がり、強度が低下した光パルスに励起光パルスを作用させ、伝送路用光ファイバと構造の類似した信号光パルス圧縮用光ファイバ7及び信号光パルス増幅用エルビウム添加光ファイバ2によって、信号光パルスを光のままに圧縮及び増幅することができるので、光通信における信号中継装置を、複雑な電気回路を要することなく小形にして簡易に構成できる。

なお、信号光パルス圧縮用光ファイバ7の長さ及び構造は、圧縮しようとする信号光パルスの幅、波長、強度によって最適なものに設計する必要がある。一例としては、零分散波長が $1.56\sim 1.6\mu\text{m}$ 帯にある数cm～数百m長の低損失分散シフト光ファイバを挙げることができる。この場合、上記したように、信号光パルスの波長 λ_2 は $1.3\mu\text{m}$ 、圧縮用励起光パルスの波長 λ_1 は $1.56\mu\text{m}$ 等の値が選定されることになる。

また、エルビウム添加光ファイバ2については、文献に述べられているように、添加量約 1000ppm 、長さ 3.5m 、コア系 $6.9\mu\text{m}$ 、比屈折率差 0.85%

— 2 3 —

一構成の励起光パルス発生用光源5dを配置し、エルビウム添加光ファイバ2を中心として、対称な構成としたことにある。

本第2の実施例によれば、前記第1の実施例の効果に加えて、片方向のみではなく、双方向からの信号パルスの圧縮及び増幅を行なうことができる。

なお、上記第1及び第2の実施例においては、信号光パルス圧縮用光ファイバと信号光パルス増幅用光ファイバとを別個に構成したが、これに限定されるものではなく、希土類元素添加光ファイバ、例えばエルビウム添加光ファイバにおいて、第4図に示すような群速度分散を持つように屈折率分布等の光ファイバのパラメータを選定することにより、一つのエルビウム添加光ファイバ中で、信号光パルスの圧縮及び増幅を同時に実現できる。

第9図は、このような圧縮及び増幅作用を併せ持つ一つの希土類元素添加光ファイバを用いる本発明による光パルス圧縮増幅方法を採用した光ファイバ通信システムの第3の実施例を示す構成図

のものを使用してもよい。これらのパラメータは、増幅度、信号光パルス波長等によって、最適化を図る必要がある。

第8図は、本発明による光パルス圧縮増幅方法を採用した光ファイバ通信システムの第2の実施例を示す構成図である。

本第2の実施例と前記第1の実施例の異なる点は、信号光パルス増幅用エルビウム添加光ファイバ2と伝送路用光ファイバ1bとの間に、一端が光結合器3cの端子3Bに接続され、他端が光結合器3dの端子3Aに接続された信号光パルス圧縮用光ファイバ7aを挿入して、光結合器3cの端子3Aと光ファイバ1bの一端を、光結合器3dの端子3Bとエルビウム添加光ファイバ2の他端とを接続し、さらに、光結合器3cの端子3C側には、光ファイバ配線コード6cを介して励起光パルス発生用光源5aと同一構成の励起光パルス発生用光源5cを配置するとともに、光結合器3dの端子3C側には、光ファイバ配線コード6dを介して励起光パルス発生用光源5bと同

— 2 4 —

である。

本第3の実施例と前記第1の実施例の異なる点は、信号光パルス圧縮用光ファイバ7と信号光パルス増幅用エルビウム添加光ファイバ2の代わりに、正常分散特性を有する希土類元素（例えば、エルビウム）添加光ファイバ8を配置した点、並びに光結合器3aの端子3Cに、光ファイバ配線コード6aを介して光結合器3eを接続し、光結合器3eに光ファイバ配線コード6e、6fを介して交差位相変調を発現させるための励起光パルス発生用光源5aと希土類元素添加光ファイバ励起のための励起光パルス発生用光源5bとを接続した点にある。

このような構成においては、交差位相変調を発現させるための励起光パルス発生用光源5aからは、信号光パルスよりも短波長で、かつ、強度が大きく、しかも群速度の大きい圧縮用励起光パルスを、信号光パルスよりも遅らせて入射し、希土類元素添加光ファイバ励起のための励起用光パルス発生用光源5bからは、正常分散特性を有する

希土類元素添加光ファイバ8の励起に必要な波長と強度を有する増幅用励起光パルスを、信号光パルスと同時に入射する。

但し、この場合には、交差位相変調を発生させるための圧縮用励起光パルスと増幅を行なうための増幅用励起光パルスとの相互作用を抑制するため、両励起光パルスの波長を別々に設定する必要がある。

これにより、上記第1の実施例で説明したと同様の効果が発生し、正常分散特性を有する希土類元素添加光ファイバ8において、信号光パルスは圧縮・増幅される。

このように、本第3の実施例によれば、第1の実施例における信号光パルス圧縮用光ファイバ7とエルビウム添加光ファイバ2とを一体化できるので、光通信における信号中継装置を、さらに小型化及び簡易化することができる。

(発明の効果)

以上説明したように、請求項(1)によれば、例えば伝送路を伝播する間にパルス幅が広がり、強

度が低下した信号光パルスと、信号光パルス伝播用光ファイバと構造の類似した光ファイバによって、光のままで圧縮及び増幅を行なうことができる。従って、光/電気、電気/光変換回路等の複雑な電気回路を必要としないので、小形にして簡易な構成の装置で信号光パルスの中継を行なうことができる。また、この光通信における信号中継装置の簡易化を通じて、光通信システムの経済化、高信頼化を図ることができる。

また、請求項(2)によれば、請求項(1)の効果に加えて、さらに光通信における信号中継装置の小形化、簡易化を図れる利点がある。

4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明による光パルス圧縮増幅方法を採用した光ファイバ通信システムの第1の実施例を示す構成図、第2図は従来方法を採用した光ファイバ通信システムの構成図、第3図は光結合器の構成例を示す図、第4図は本発明に係る信号光パルス圧縮用光ファイバの群速度分散特性を示すグラフ、第5図乃至第7図は本発明に係るチャー

— 27 —

プを説明するための図で、第5図は圧縮用励起光パルスが信号光パルスよりも先に圧縮用光ファイバに入射された場合のチャープを示す図、第6図は圧縮用励起光パルスが信号光パルスと同時に圧縮用光ファイバに入射された場合のチャープを示す図、第7図は圧縮用励起光パルスが信号光パルスよりも遅れて圧縮用光ファイバに入射された場合のチャープを示す図、第8図は本発明による光パルス圧縮増幅方法を採用した光ファイバ通信システムの第2の実施例を示す構成図、第9図は本発明による光パルス圧縮増幅方法を採用した光ファイバ通信システムの第3の実施例を示す構成図である。

図中、1a, 1b…伝送路用光ファイバ、2…信号光パルス増幅用エルビウム添加光ファイバ、3, 3a, 3b, 3c, 3d, 3e…光結合器、4…信号光パルス発生用光源、5, 5a, 5b, 5c, 5d…励起光パルス発生用光源、6, 6a, 6b, 6c, 6d, 6e, 6f…光ファイバ配線コード、7…信号光パルス圧縮用光ファイバ、8

— 29 —

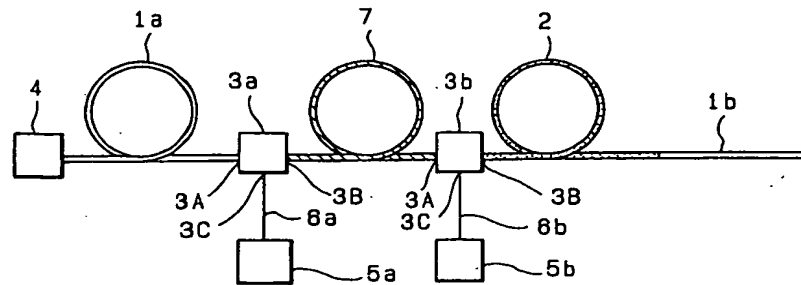
— 28 —

…正常分散特性を有する希土類元素添加光ファイバ。

特許出願人 日本電信電話株式会社
代理人 弁理士 吉 田 精 孝

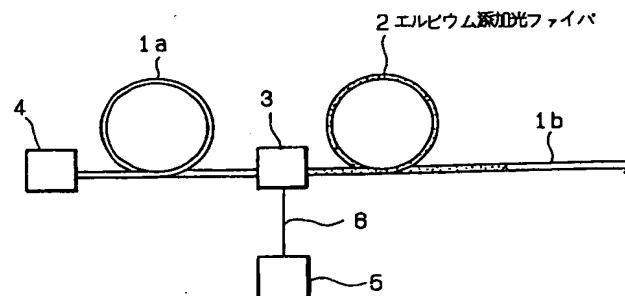
— 30 —

- 1a } 伝送用光ファイバ
- 1b } 伝送用光ファイバ
- 2 : エルビウム添加工ファイバ
- 3a, 3b : 光結合器
- 4 : 信号光ノイズ発生用光源
- 5a, 5b : 励起光ノイズ発生用光源
- 7 : 信号光ノイズ伝送用光ファイバ



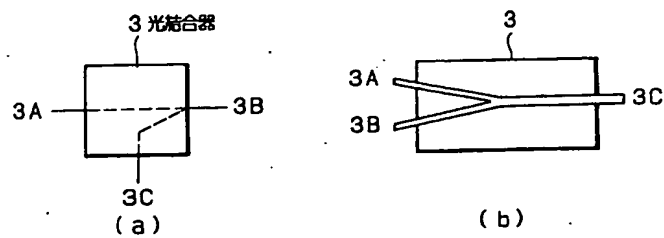
本発明の第1の実施例を示す構成図

第 1 図



従来例の構成図

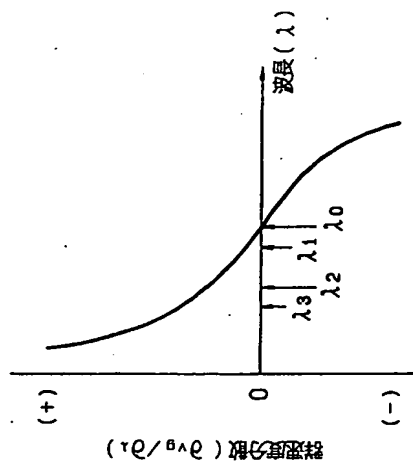
第 2 図



光結合器の構成例

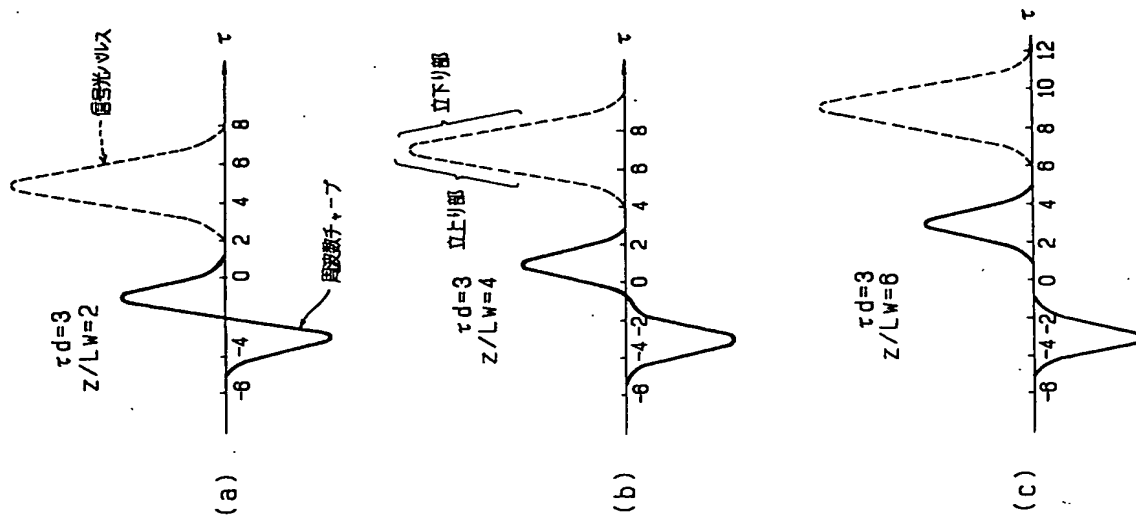
第 3 図

λ_0 : 帯分波長
 λ_1 : 圧縮用起光波長の波長
 λ_2 : 信号光波長の波長
 λ_3 : 増幅用起光波長の波長



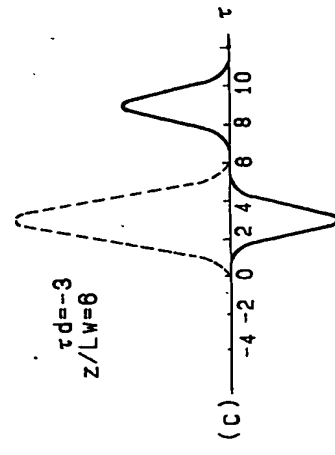
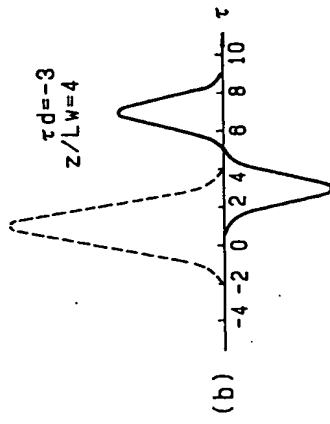
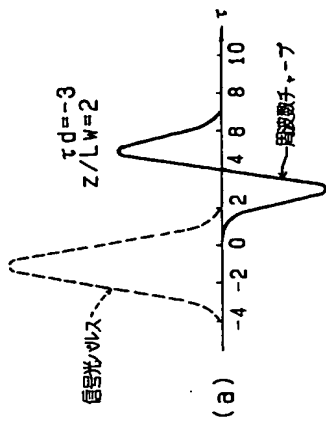
圧縮用ファイバの群速度分散特性

第 4 図



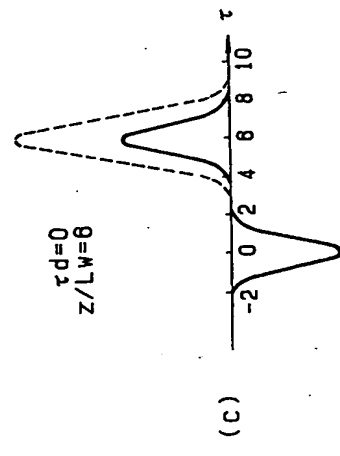
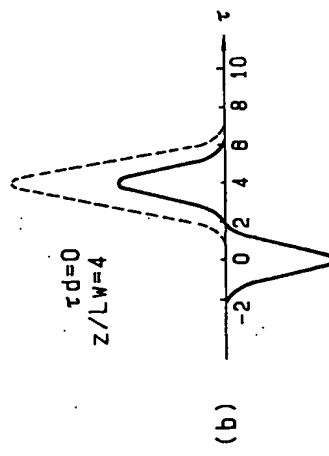
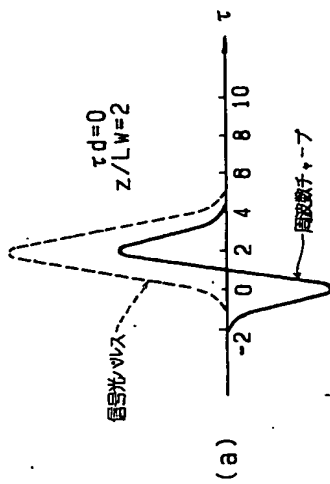
起光波長が信号光波長より短く圧縮用ファイバに入射された場合のチャープを示す図

第 5 図



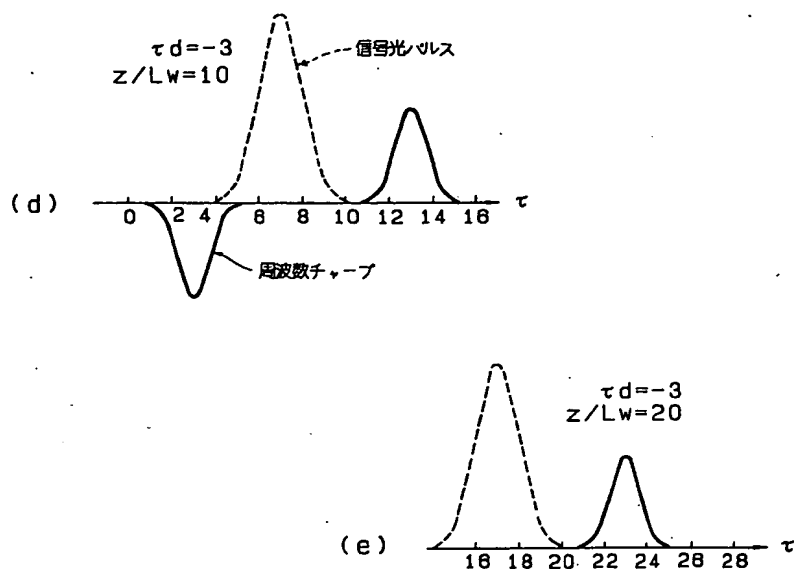
励起光パルスが信号光パルスより遅れて圧縮用ファイバに入射された場合のチャープを示す図

第 7 図



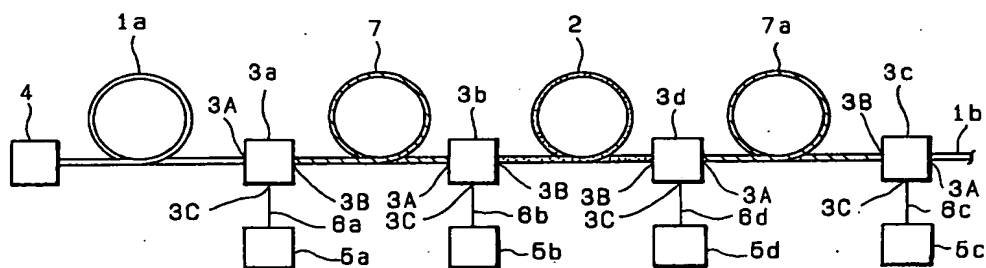
励起光パルスが信号光パルスと同時に圧縮用ファイバに入射された場合のチャープを示す図

第 6 図



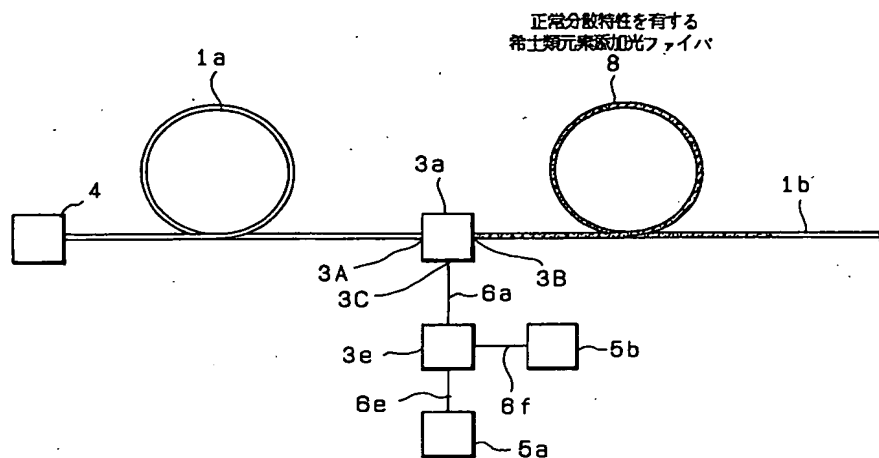
励起光パルスが信号光パルスより遅れて圧縮用光ファイバに入射された場合のチャープを示す図

第 7 図



本発明の第2の実施例を示す構成図

第 8 図



本発明の第3の実施例を示す構成図

第 9 図